

LA PRESA DE BENINAR, EJEMPLO DE INTERRELACION DE LA ESTANQUEIDAD DE LA PRESA Y DEL EMBALSE

Por ALFONSO ALVAREZ MARTINEZ

Prof. E. T. S. de Ing. de C., C. y P.

JUAN LOPEZ MARTOS

Doctor Ingeniero de C., C. y P.
Confederación Hidrográfica del Sur.

ANTONIO DE SANTIAGO

Doctor Ingeniero de C., C. y P.
EDES.

1. INTRODUCCION

El avance de la técnica de construcción de presas, y la puesta a punto de medios que permiten mover a precios económicos grandes volúmenes de material (tierra y escollera) hacen posible hoy día la construcción de presas en cerradas calificadas como inaceptables treinta o cuarenta años atrás. España, con gran tradición en la tecnología presística, ofrece hoy día gran desarrollo de las presas de materiales sueltos.

A esta situación se ha llegado por existir además otro factor de fuerte incidencia en la definición del concepto "precio económico". Nos referimos al aumento de la demanda de agua, que produciéndose a escala mundial, es aún mayor en las zonas de escasas lluvias y de clima suave; éstas pueden experimentar un importante desarrollo caso de disponer de recursos hidráulicos suficientes.

Sucede así con la zona sureste de la Península Ibérica, donde el déficit de los recursos hidráulicos es una constante que se manifiesta ya desde los tiempos de la cultura neolítica. La fuerte demanda de agua hizo pensar en el último tercio del siglo XIX en el aprovechamiento del río Adra, que se nutre esencialmente de las nieves penibéticas, para regar una importante llanura situada en las cercanías. Esta idea fue madurándose hasta concretarse, en los años de 1930 a 1935, en un complejo plan de obras que no se llevaron a cabo. Su complejidad procedía de la dificultad de construir una presa en el cañón calizo del río donde existen espesores de acarreo de hasta 60 m; por esta razón se situaba el embalse regulador en un afluente lateral, resultando muy costoso el necesario trasvase, pues el irregular régimen del río (propriadamente es un torrente) obligaba a un canal de capacidad muy superior al caudal medio; en segundo lugar la fuerte erosión existente en la cuenca podía hacer peligrar la vida útil del embalse.

En la actualidad estamos llevando a cabo la idea de aprovechar los caudales del río Adra, pero embalsando en el propio río. Para ello se cerrará la entrada del cañón calizo mediante una presa de materiales sueltos, cimentada directamente sobre los acarreos.

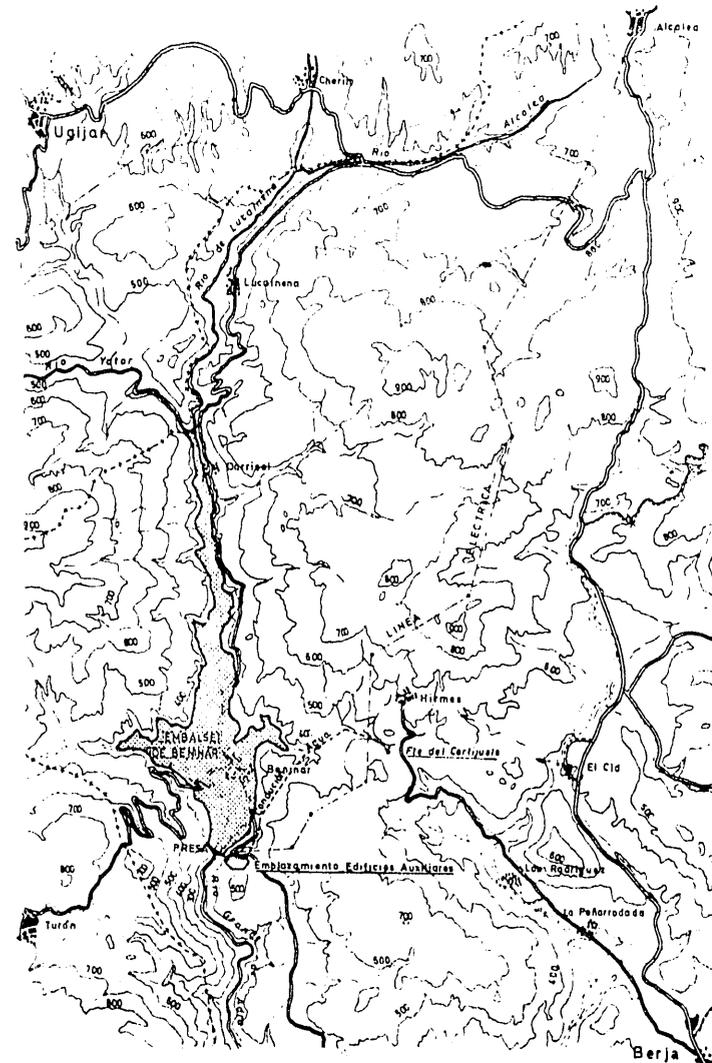
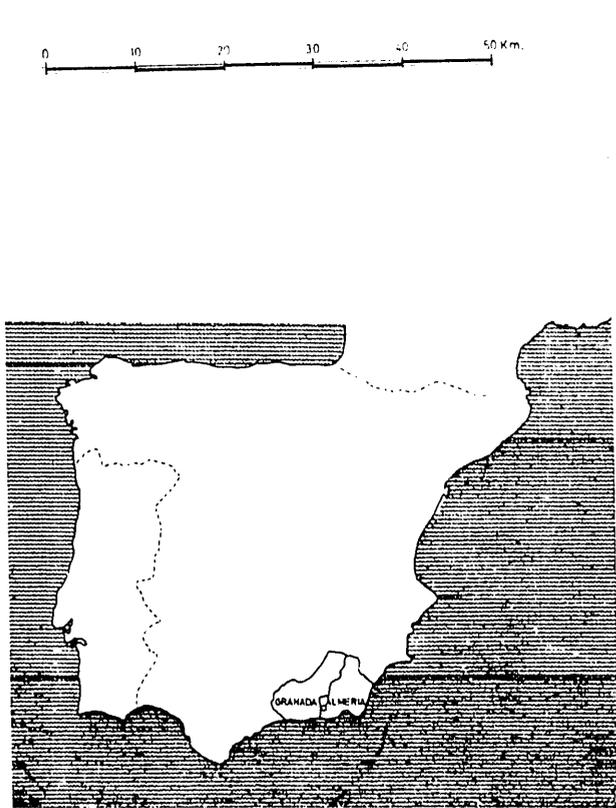
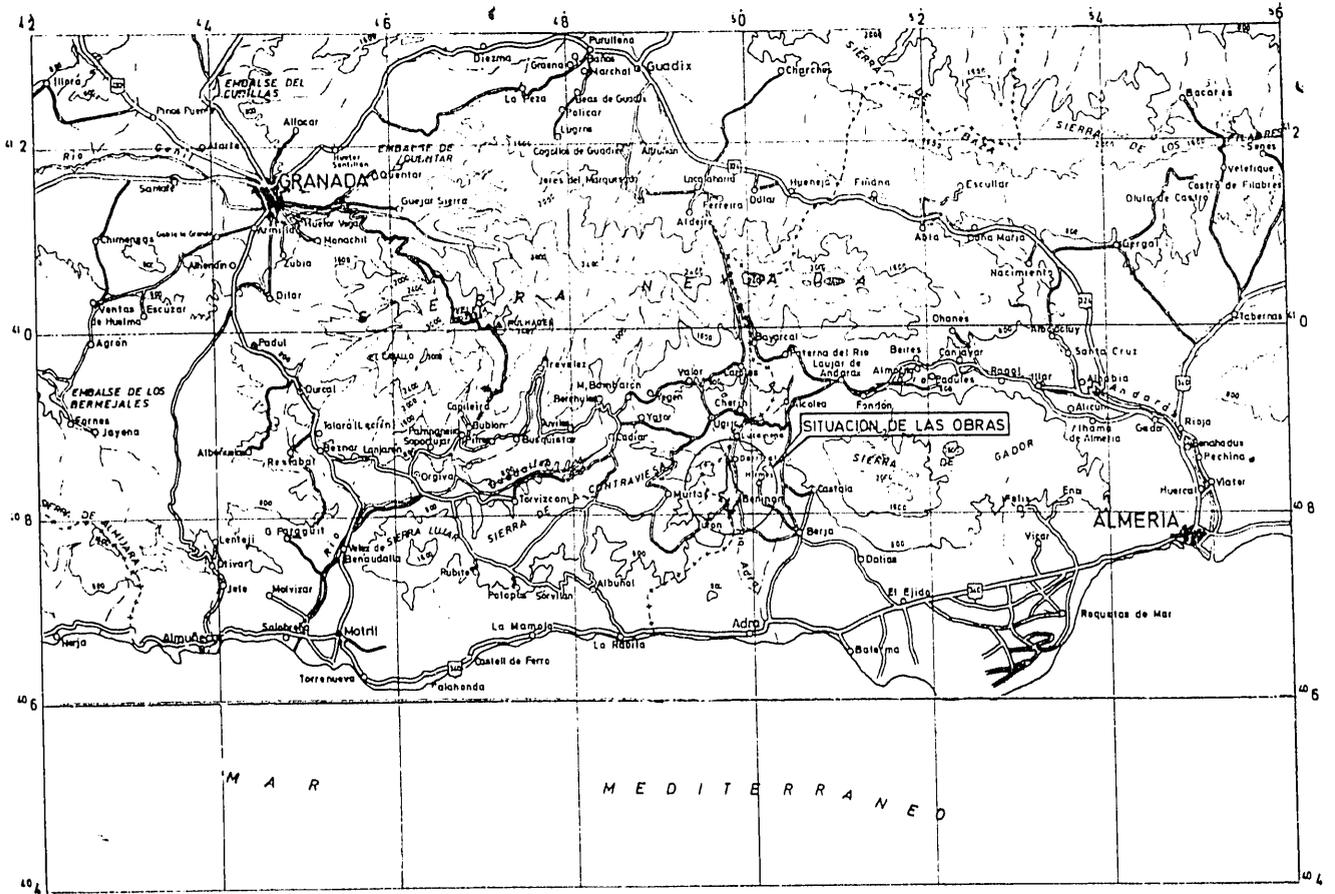
Existe un factor favorable a la cuantía de la inversión: el agua se destinará no sólo para los regadíos citados, sino para abastecer la ciudad de Almería, que ha experimentado un fuerte incremento de población, a tenor del cambio demográfico del país, tanto en su crecimiento como en su distribución.

Para resolver el segundo problema, que con anterioridad se oponía a la construcción de esta presa, la erosión de la cuenca, se ha previsto el tratamiento de 30.000 Ha y la construcción de tres diques de detención de acarreo, con capacidad para retener los arrastres, en tanto se completa la acción sobre la cuenca. Conviene aclarar que el tratamiento completo de la cuenca requiere la regeneración de su cubierta vegetal, arbustiva en unos casos y arbórea en otros; no obstante, el hecho de expropiar los terrenos y prohibir en pendientes fuertes los cultivos y el pastoreo reducen la erosión en un 90 por 100, hecho comprobado en las fortísimas lluvias, superiores a 400 mm en veinticuatro horas, que tuvieron lugar en la zona en octubre del año 1973. La erosión media estimada en las circunstancias actuales es del orden de los 500.000 m³ al año, lo que equivale a una pérdida uniforme de suelo de 0,95 mm en los 521 Km² de cuenca.

El objeto de la presa es regular las aportaciones propias del río Adra, cuya aportación media anual es de 45 Hm³, y además las trasvasadas de la cuenca limítrofe, río Guadalfeo, en una cuantía de 50 Hm³; se destinan 22 hectómetros cúbicos al abastecimiento de Almería y el resto a regar 7.000 Ha situadas en la llanura denominada "Llano de Dalías", zona de gran productividad, pues la benignidad del clima permite el cultivo invernal de flores y productos hortícolas. Se puede garantizar que esta zona tiene un rendimiento cinco veces superior a la media de los regadíos del país.

La fuerte pendiente del río, 1,8 por 100, obliga a construir una presa de 83 m de altura sobre el cauce, habiendo adaptado su proyecto a los materiales disponibles en la zona, aunque su calidad difiera de la óptima. La capacidad del embalse es de 70 Hm³, siendo el embalse muerto de 10 Hm³, como precaución durante el período de corrección de la cuenca.

13



2. GEOLOGIA DE LA ZONA

La geología de la cerrada y del vaso ha sido exhaustivamente estudiada por el doctor ingeniero don Rafael Conejo, del Servicio Geológico del Ministerio de Obras Públicas, y por el profesor don Clemente Sáenz, de la empresa consultora EDES, auxiliados de sus correspondientes equipos. Pese a la complejidad estructural de la zona, se han podido desvelar todas las incógnitas relativas a la construcción del embalse; quedan otras, de carácter casi exclusivamente teórico sobre las cuales no hay unanimidad entre los distintos autores, y por ello se sigue investigando, para tener un conocimiento completo de las estructuras afectadas.

La presa y embalse de Beninar se encuentran situados en la vertiente sur de Sierra Nevada, macizo de la cordillera Penibética, que se formó con el plegamiento Alpino. La zona de ubicación está constituida por materiales, posiblemente alóctonos, de edad permotriásica, y que son conocidos como "Complejo Alpujárride"; dentro de este complejo se distinguen varios mantos de corrimiento, que han sido fuertemente tectonizados por la orogenia terciaria. Son tres los mantos que nos interesan y que citamos de inferior a superior: Lújar, Alcázar y Murtas.

Los tres mantos tienen una constitución análoga, a saber: un conjunto inferior compuesto por filitas y pizarras talco-sericíticas, conocidas en la región por el nombre de launas, en cuyo interior se presentan vetas de cuarzo y cuarcitas, y superpuesto a éste otro de índole calcárea (calcoesquistos, dolomías, carniolas, calizas brechoides) en el cual no son raros los lentejones, de escasa entidad, de filitas.

Tienen también representación en la zona, al norte del vaso, pero sin llegar a afectarlo, pequeños retazos de mioceno marino (conglomerados y molasas) en placas casi horizontales.

Hay, finalmente, diversos niveles cuaternarios, siendo el más potente el del fondo del río, con una potencia de 60 m. Estos acarrees de lecho, dada la procedencia de los mismos (filitas y pizarras, preferentemente), son poco permeables.

Inmediatamente aguas abajo de la futura obra hay un cañón profundo, labrado en los materiales calcáreos del manto de Lújar, muy metamorizados y tectonizados, francamente permeables debido más que a las pequeñas karstificaciones observadas a la abundante presencia de litoclasas abiertas. Por ello, en la mayoría de los sondeos se registraron fuertes pérdidas de agua (en algunos más de 1.000 litros por minuto en un tramo de 3 m) y, lo que es más importante, se comprobó que el nivel freático está unos 100 m más abajo que el cauce del río.

Inmediato al cañón y hacia aguas arriba se encuentra el manto de Alcázar, cuyas filitas dan laderas y perfiles más suaves. El contacto entre las dos formaciones se produce por una superficie de cabalgamiento, siendo de notar dos accidentes importantes, que aparecen ligados, en la margen izquierda: la falla de Beninar y una ventana tectónica que hacen surgir entre las launas de Alcázar, los ma-

teriales calcáreos de Lújar. Las launas en el frente del cabalgamiento aparecen como dos fajas delgadas en las laderas, pero van aumentando de potencia hacia el norte; sobre ellas aparecen como flotando formaciones de calizas menos esquistosas.

En el lecho del río el frente de launas se encuentra oculto por los acarrees, y debido a la erosión fluvial sufre un retroceso hacia el norte, con respecto a la posición que ocupa en las laderas. Por otra parte existen dos recintos, uno de ellos conectado con la falla de Beninar, en el interior de la zona de las launas, en los cuales los acarrees se asientan directamente sobre los calcoesquitos del manto de Lújar.

El manto de Murtas tiene muy poca representación dentro del embalse.

Cabe, finalmente, señalar en la zona varias conchas de deslizamiento, algunas de ellas de relativa importancia y la presencia en el vaso de una banda de yeso marfileño intercalado entre las filitas.

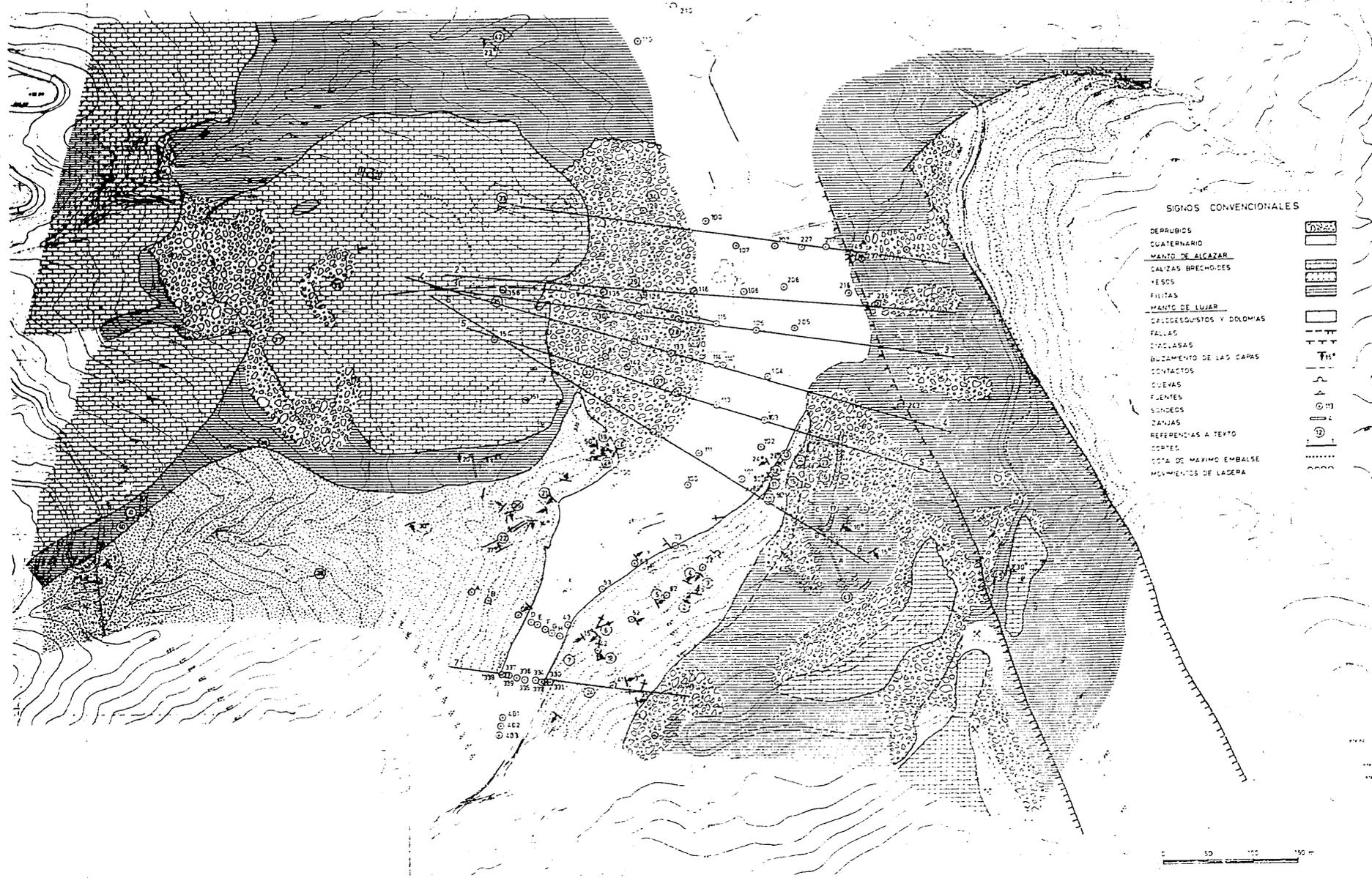
La hidrogeología del macizo calcáreo del cañón es muy compleja; como hemos dicho antes, el nivel freático queda muy profundo, alrededor de 100 m por debajo del cauce, estando relacionado este nivel con unos manantiales que existen al final del cañón (unos 5 Km aguas abajo de la obra) denominados "Fuentes de Marbella".

3. TIPO DE PRESA Y UBICACION DE LA MISMA

A primera vista la topografía de la cerrada sugiere la implantación de una presa bóveda; sin embargo, del estudio geológico se deducen graves inconvenientes: dada la gran profundidad que alcanzan los acarrees y la intensa fracturación del macizo rocoso (en la margen derecha presenta diaclasas con aperturas de 15 cm a 30 m de profundidad y en la izquierda, durante la perforación del túnel de desvío, se ha comprobado análogo fenómeno a profundidad de 60 m) serían necesarias importantes excavaciones o complejos tratamientos del macizo, con el consiguiente incremento del presupuesto, inadmisibles si existen soluciones viables de otro tipo.

Por razones económicas, al no ser aconsejable el tipo bóveda, se decidió una solución de materiales sueltos, ya que una presa de gravedad resultaría más cara.

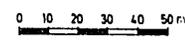
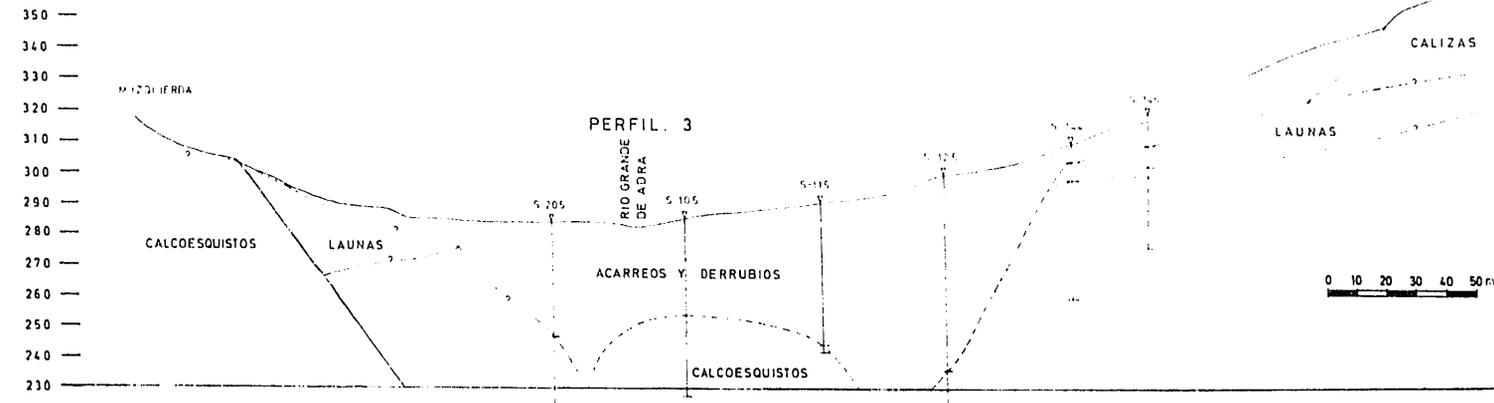
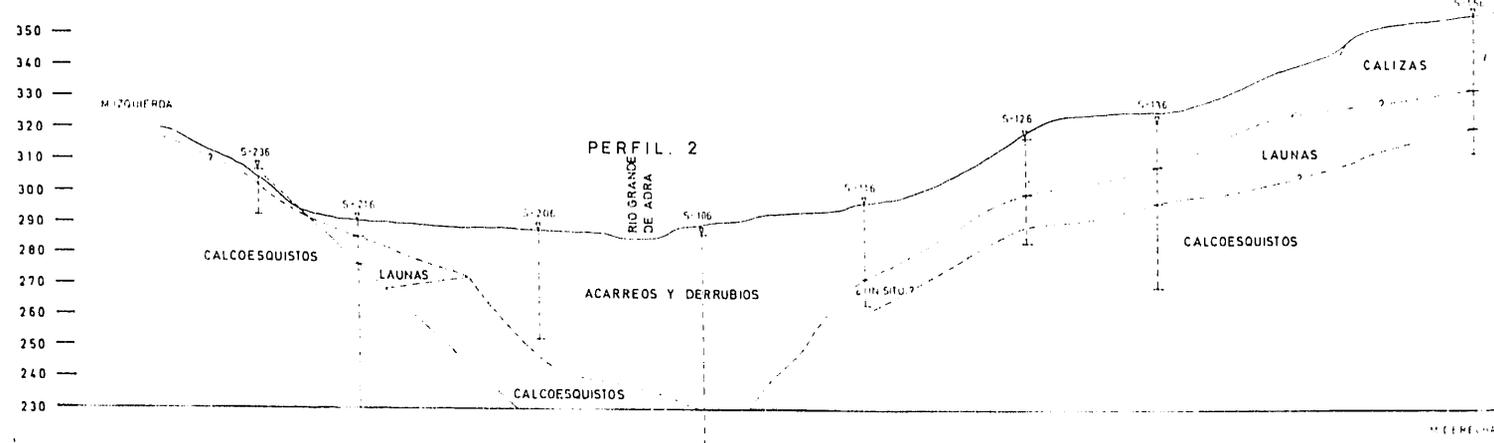
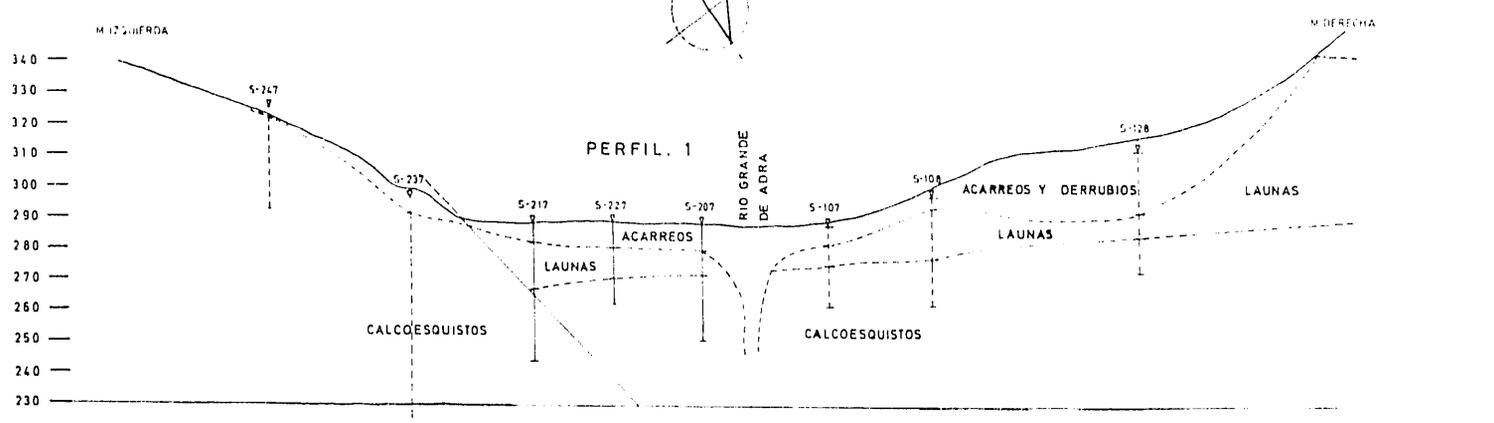
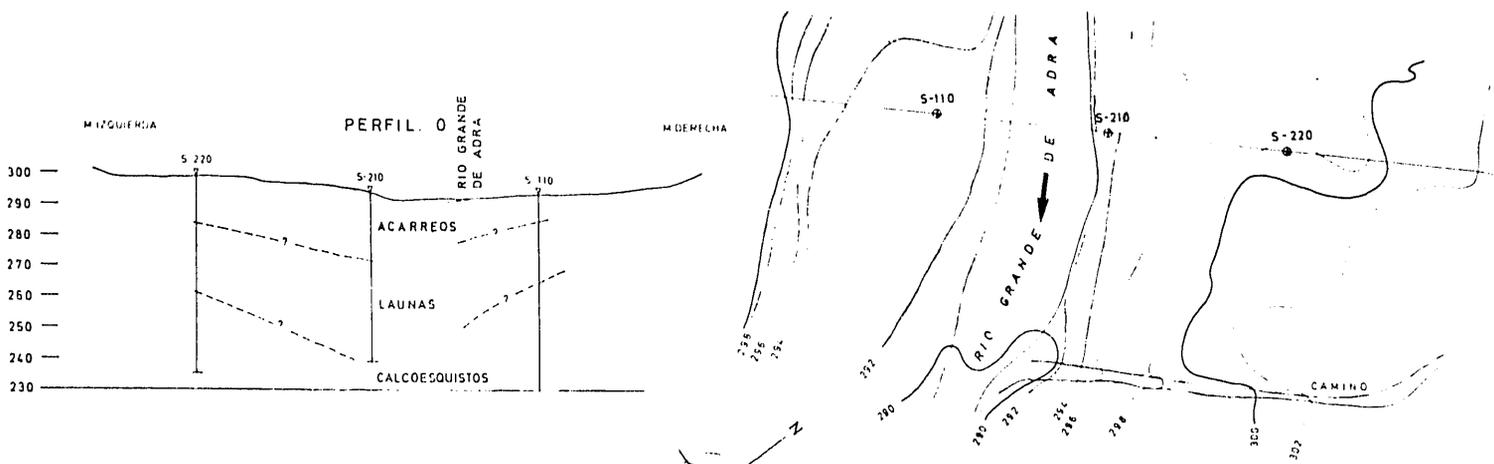
En principio, la ubicación que requería volumen menor de material era la denominada "Molino Hondero", en el interior del cañón, siendo fácil además disponer el aliviadero en las laderas calizas. Sin embargo, las condiciones hidrogeológicas observadas en el macizo, y la permeabilidad del mismo, hacían muy arriesgada esa ubicación; habría que realizar una pantalla profunda, mínimo 120 m y de amplias alas laterales, y aún con ello quedaban dudas sobre su efectividad, puesto que no se podía alcanzar roca ciertamente impermeable, dada la gran potencia, superior a 500 m, de los calcoesquistos del manto de Lújar. Se estimó que la superficie de la pantalla de inyecciones habría de ser como mínimo de 83.000 m², lo cual encarecía exageradamente el coste de la obra y no garantizaba



SIGNOS CONVENCIONALES

- DERRUBIOS
- CUATERNARIO
- MANTO DE ALCAZAR
- CALZAS BRECHOSAS
- YESOS
- FILITAS
- MANTO DE LUJAR
- CALCESQUISTOS Y DOLOMITAS
- FALLAS
- DIACLASAS
- BUZAMIENTO DE LAS CAPAS
- CONTACTOS
- CUEVAS
- FUENTES
- SOMECOS
- ZANJAS
- REFERENCIAS A TEXTO
- ORDES
- TOTA DE MAXIMO EMBALSE
- MOVIMIENTOS DE LASERA

PLANO GEOLOGICO DE LA CERRADA



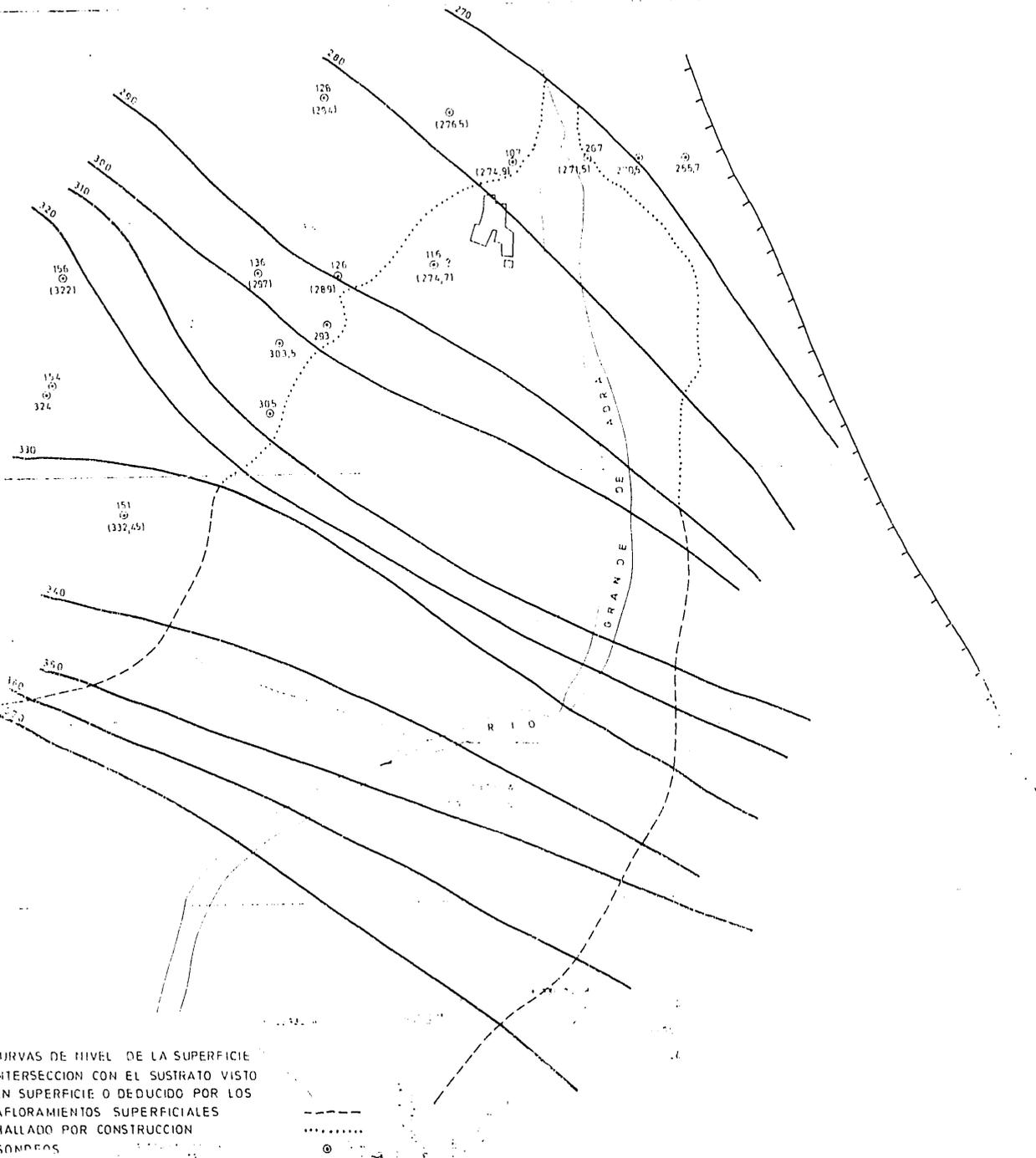
CORTES SERIADOS DEL VALLE. DEDUCIDOS DE LOS SONDEOS

la ausencia de filtraciones. En un río de tan pequeña aportación, 1,5 m³/seg de caudal medio, no son admisibles las pérdidas que, en pantallas de tan gran superficie, pueden considerarse aceptables cuando el caudal filtrado es del orden de 0,5 m³/seg.

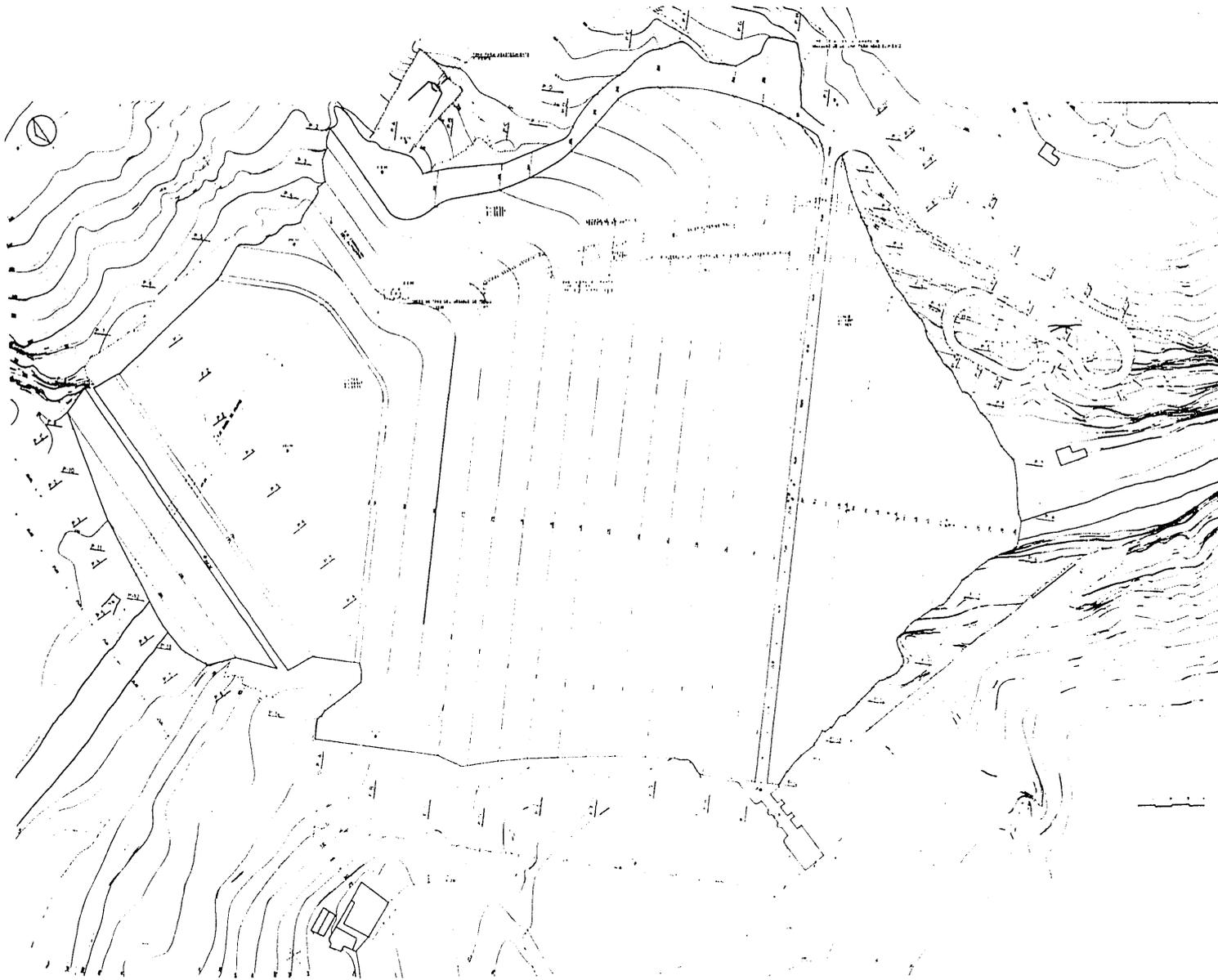
Por lo anteriormente expuesto, se decidió finalmente situar la presa a la entrada del cañón, a 210 m aguas arriba de la posición anterior, para poder enlazar así la

presa con las launas cabalgadas sobre los calcoesquistos, ya que estas launas se extienden por todo el embalse.

Según puede verse en los planos geológicos que se adjuntan, el aparente frente de cabalgamiento desciende hacia agua arriba con una inclinación que se aproxima a 3,4 : 1. Si se quiere enlazar con las launas el dispositivo impermeable hay que darle en las laderas un talud similar al indicado, y en consecuencia con esta solución, el vo-



RECONSTRUCCION DE LA SUPERFICIE DE CONTACTO ENTRE FILITAS Y CALCOESQUITOS



rial al estar entonces toda la presa ubicada en pleno valle. Una vez obligada la condición de situación del dispositivo en el paramento de aguas arriba de la presa cabía la elección entre un núcleo inclinado con un ligero espaldón de protección o una pantalla impermeable. Al estar condicionados los taludes por las razones de impermeabilidad ya indicadas, la pantalla superficial resulta de coste más elevado que el núcleo; no se aprovecharía la ventaja que ofrecen las pantallas de poder dar a los espaldones taludes estrictos.

Se ha adoptado la solución de núcleo inclinado agua arriba, enlazando las launas de las laderas y construido con este mismo material; en la zona, en varias canteras distantes de la obra menos de 2 Km, existen launas explotables en cantidades ilimitadas a los efectos de esta obra.

Tiene esta solución la ventaja de la homogeneidad entre las zonas impermeables de la cerrada y el núcleo; al mismo tiempo restablece la situación geológica pasada, una vez asentado el manto de Alcázar sobre el de Lújar y antes de que el río se abriera paso a través del macizo calcáreo.

5. MATERIALES

La economía de una obra de este tipo exige la utilización de los materiales del entorno, siendo siempre más conveniente, desde este punto de vista, ceder un poco en lo que respecta a la calidad de los materiales, aumentando el volumen de material colocado que exigir unas calidades estrictas que conlleven largas distancias de transporte para el material de la presa.

Con esta hipótesis se ha llegado a una sección tipo en la que intervienen los siguientes materiales: filitas como elemento impermeabilizante, escollera y acarreos en los espaldones y material granular para filtros.

Había en principio dos posibilidades para obtener la escollera: a partir de las areniscas terciarias situadas al norte del vaso o usando las rocas carbonáticas de los montes Alpujarrides. La opción primera fue desestimada de modo inmediato, pues respecto a la otra fuente de aprovisionamiento tiene mayor distancia de transporte, menor potencia de los estratos explotables y menor resistencia ante los agentes atmosféricos.

Las rocas que coronan el cañón inmediato a la presa, constituyentes del tramo superior del manto de Lújar, son muy aptas para obtener una escollera gruesa con favorables ángulos de rozamiento y el excelente drenaje que conviene a este tipo estructural.

La abundancia de lugares aptos para extraer este material permite dejar libertad al constructor para elegir la que considere de más fácil extracción siempre que cumpla las prescripciones exigidas y respete las ideas generales de optimización de la calidad.

El constructor ha elegido, como cantera de escollera, las calizas de la ventana tectónica por la que aflora el manto de Lújar entre el de Alcázar; cantera que está muy próxima a la obra del orden de 500 metros y situada a cota superior con el consiguiente ahorro de energía en el transporte del material hasta el tajo de trabajo.

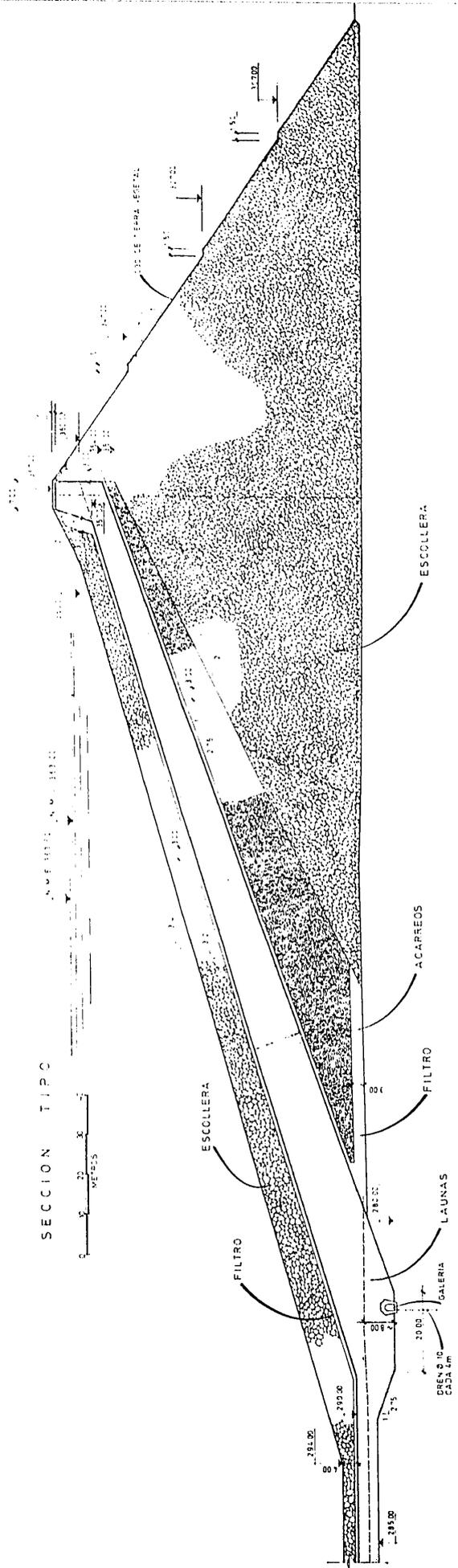
Buscando la economía de la obra, el espaldón de aguas abajo se ha previsto de carácter mixto, aprovechando los materiales cuaternarios del lecho del río, que han de ser necesariamente excavados para buscar el frente de filitas oculto bajo el cauce; dada su tendencia a la impermeabilidad podrían crear algunos problemas, por lo que su colocación y calidad deben ser especialmente cuidados.

Para el núcleo impermeable, el material escogido han sido las filitas, que son abundantísimas en todo el vaso y zonas colindantes. La distancia, superior a los 10 kilómetros a que están otros materiales arcillosos de origen mioceno, los hace prohibitivos económicamente hablando.

La explotación de las canteras de filitas (launas) puede presentar algún problema por existir ciertos niveles de cuarcitas, si bien sus espesores son débiles.

Las launas son un material apto para el núcleo; algo excesivamente pastosas para su colocación, pero hay que tener en cuenta que el clima árido de la zona permite obviar este inconveniente.

Se han analizado durante el estudio 23 muestras de launas; doce de ellas pertenecen a una cantera y han dado resultados muy satisfactorios, pues el contenido de sulfatos más altos es del 1,4 por 100. En cambio, entre las once muestras restantes, correspondientes a una segunda cantera, se han encontrado tres con porcentaje de sulfato superior al 5 por 100, pues existen diversos niveles yesíferos. En consecuencia se decidió desechar la segunda cantera y extraer launas únicamente de la primera.



El índice de permeabilidad es variable, pero muy aceptable en su conjunto, siendo el valor de K en la muestra más permeable de 8.8×10^{-6} m/seg; el valor medio de dicho coeficiente es inferior a 10^{-7} m/seg.

Por último, respecto a las filitas, resta añadir que el valor del ángulo de rozamiento interno está comprendido entre 25 y 30 grados.

El material para filtros se obtendrá por clasificación del cuaternario del río mediante la clasificación necesaria para que se adapte al siguiente huso granulométrico:

— El porcentaje que pase por el tamiz 200 será menor de 5:

$$- 5 d_{1.5} < D_{1.5} < 5 d_{85}$$

Finalmente, siendo importante el volumen de hormigón que consume la obra en las estructuras complementarias es indispensable pensar en el árido para hormigones: éste procederá del machaqueo de las calizas utilizadas en la escollera, siendo preferibles las zonas donde la formación carbonática se presente en dolomías masivas, aunque sean coquerosas, debiendo huir de los calcoesquistos, que presentan el inconveniente de dar áridos plaqueados en exceso y que contienen un porcentaje de filoncillos de cuarzo suficientes para crear problemas durante la operación de machaqueo.

6. SECCION TIPO DE LA PRESA

La sección tipo adoptada para la presa está lógicamente condicionada por las características de la cerrada y disponibilidad de materiales que se han descrito anteriormente. Para asegurar la impermeabilidad de la cerrada es necesario que el núcleo se enlace con las launas *in situ* de las laderas, por lo que se le sitúa hacia aguas arriba y con un talud muy tendido 3,2 : 1, lo que garantiza dicho enlace y proporciona coeficientes de seguridad, de acuerdo con lo prescrito por las normas oficiales, a pesar del bajo valor del ángulo de rozamiento interno de las launas. El talud de aguas abajo del núcleo es de 2,75 : 1, y sus espesores en el arranque y a la cota de máximo embalse ordinario son, respectivamente, de 47 y 8 m. Aguas arriba del núcleo y enlazando con la ataguía, que se cimenta sobre launas, en lugar de acarreo como ocurre con la presa, se ha dispuesto un tapiz horizontal de launas para evitar las filtraciones en una zona en que los acarreo del río se apoyan sobre los calcoesquistos.

Sobre el núcleo, y hacia aguas arriba, se coloca un espaldón de escollera de talud 3,4 : 1, que pasa a ser 2 : 1 a la cota 360.

El espaldón de aguas abajo está constituido por una zona de acarreo entre taludes 2,75 : 1 y 2 : 1, y otra de escollera entre taludes 2 : 1 y 1,4 : 1.

El núcleo se protege con dos capas de filtros de tres metros de espesor.

Tanto en la zona de acarreo del espaldón de aguas abajo como en el núcleo ha de ser muy cuidadoso el control del material.

7. ESTUDIO DE ESTABILIDAD

Una vez dimensionados los taludes, siguiendo el método de Bishop, se ha comprobado que el valor de los coeficientes de seguridad resultantes superan los marcados por las especificaciones españolas, tanto en las hipótesis de efecto sísmico como sin tener en cuenta esta acción.

Las hipótesis de carga consideradas han sido: embalse lleno, desembalse rápido y estabilidad de la construcción.

En la primera se analiza la estabilidad del talud de aguas abajo, teniendo en cuenta las presiones intersticiales que corresponden a embalse lleno hasta el nivel máximo extraordinario.

En la segunda se comprueba la estabilidad del talud de aguas arriba para desembalse total, partiendo del embalse lleno hasta su máximo nivel.

Finalmente, en la tercera, se estudia la estabilidad del núcleo al final de la construcción, teniendo en cuenta las presiones intersticiales que origina en el núcleo la compactación.

De acuerdo con los ensayos realizados se han usado los siguientes valores característicos en los distintos materiales:

Escollera:

Densidad	2,1 Tm/m ³
Cohesión	0 Kg/cm ²
Rozamiento	45°

Acarreos:

Densidad	1,9 Tm/m ³
Cohesión	0 Kg/cm ²
Rozamiento	33°

Launas:

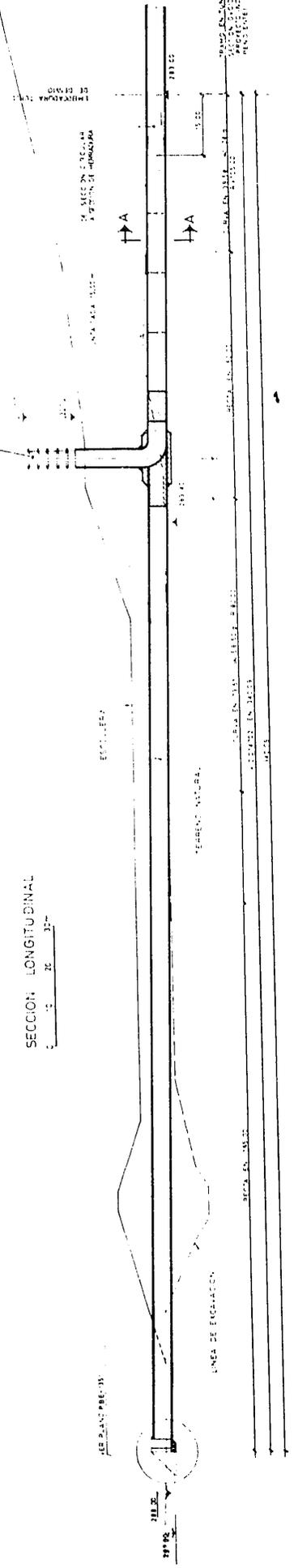
Densidad	2,1 Tm/m ³
Cohesión	0,1 Kg/cm ²
Rozamiento	25°

Como el cimientado es un lecho de acarreo de fuerte espesor se le han considerado las mismas características que los acarreo de la presa.

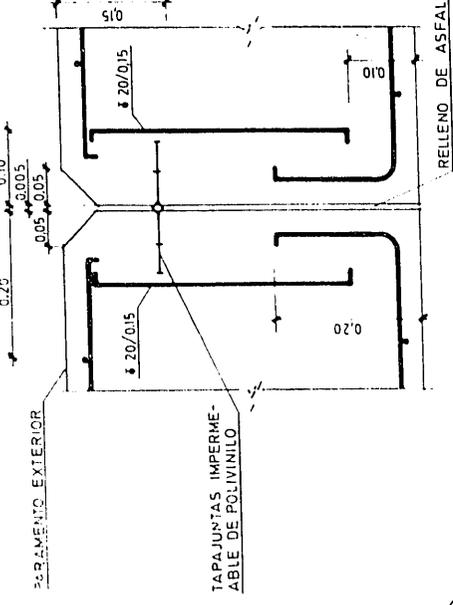
En la hipótesis de existencia de un efecto sísmico se ha supuesto que en cada faja actúa una componente real de 0,07 veces el peso real de la misma y se toma un peso virtual de 0,93 veces el real.

Con todas estas hipótesis se han ensayado una numerosa serie de círculos de deslizamiento, llevándose a una cuadrícula el centro de los mismos y dándole el valor mínimo del coeficiente de seguridad obtenido para todos los círculos concéntricos; de esta forma se obtiene un gráfico de curvas de isoseguridad.

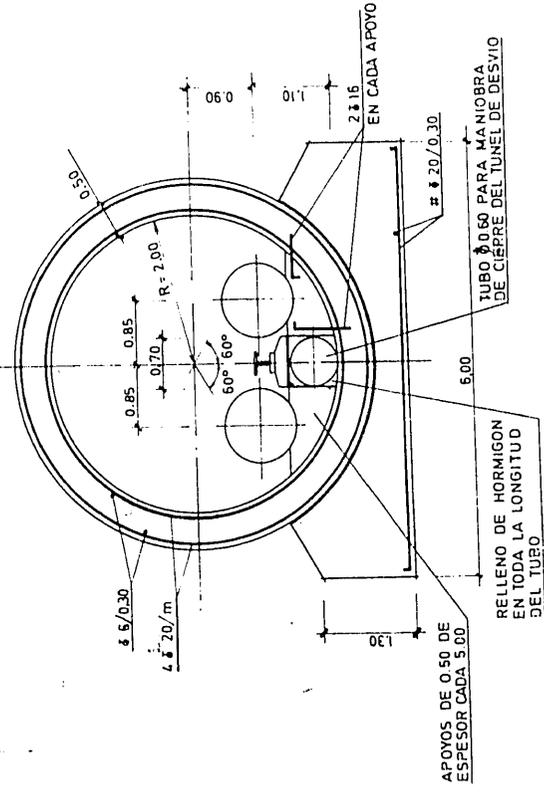
SECCION LONGITUDINAL



JUNTA EN CONDUITO / 15 m.

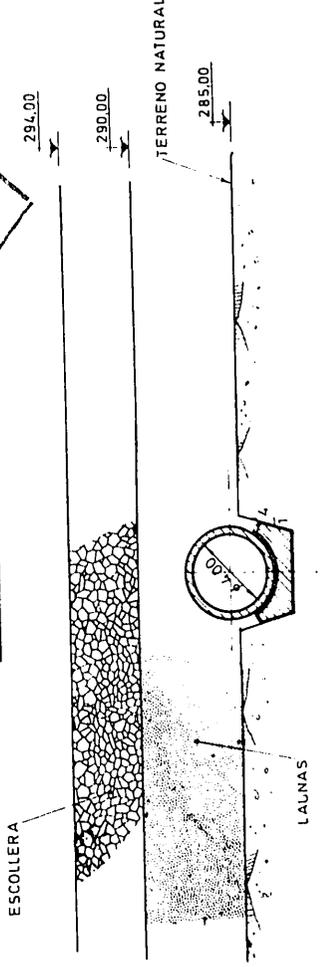
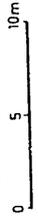


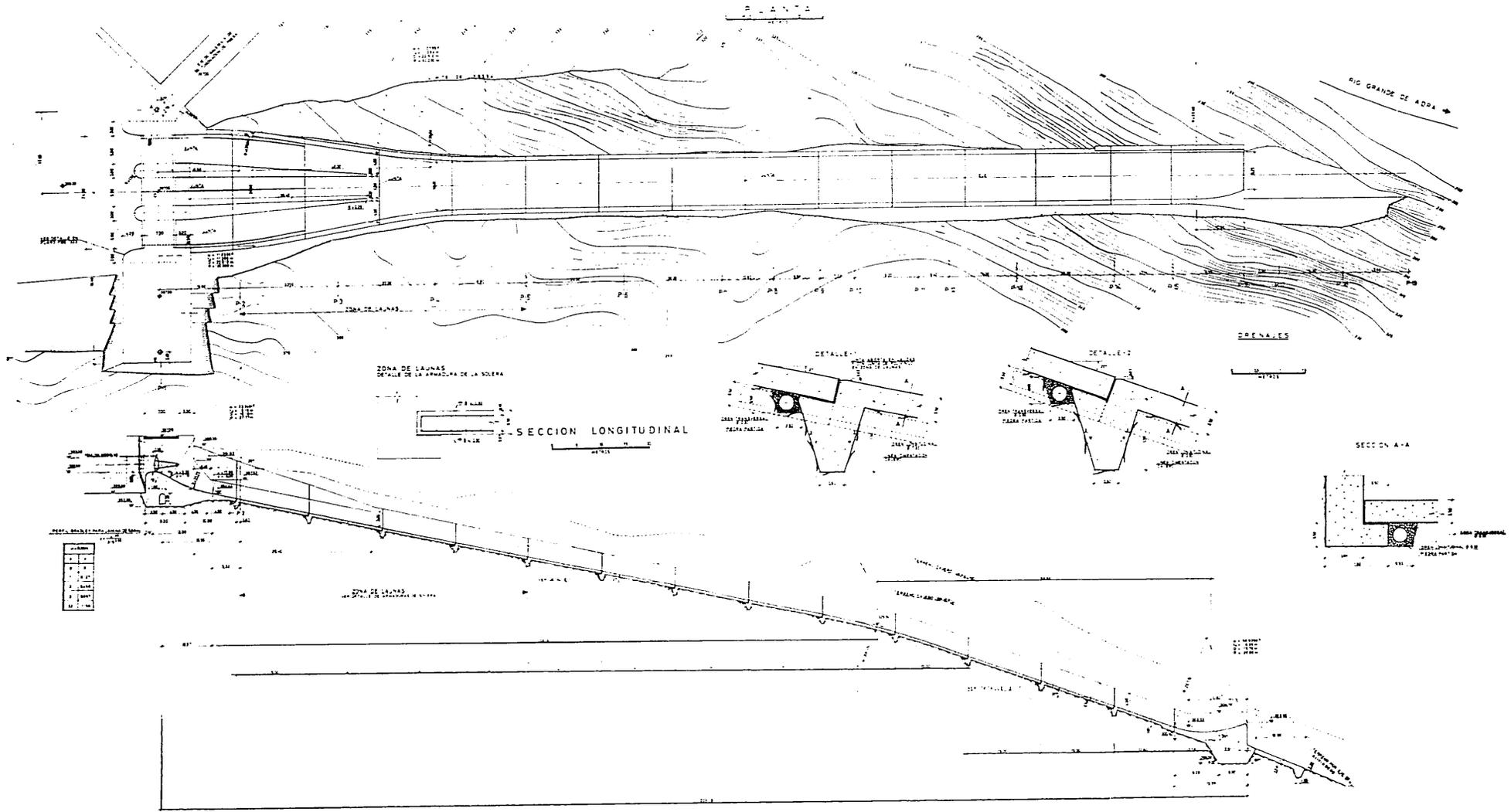
SECCION A-A



COLEGIO INGENIEROS DE GUAYMAS
BIBLIOTECA

SECCION TIPO





El resumen de resultados de los coeficientes de seguridad es el siguiente:

a) Sin efecto sísmico.

Embalse lleno	1,65
Desembalse rápido	1,30
Final construcción	1,20

b) Con efecto sísmico:

Embalse lleno	1,62
Desembalse rápido	1
Final construcción	1

Se han ensayado, asimismo, líneas de rotura no circulares constituidas por un tramo recto y un círculo en la parte baja, siendo el menor valor del coeficiente obtenido el de 1,32 para el núcleo.

8. ALIVIADERO

El aliviadero proyectado se ubica en la ladera derecha, estando constituido por los siguientes elementos: sección de desagüe, canal de transición y canal de descarga.

La sección de desagüe consta de tres vanos de seis metros de luz, separados por dos pilas de tres metros de ancho; los vanos se cierran con sendas compuertas Taintor de 3,50 metros de altura.

El canal de descarga tiene una longitud total de 227 metros y un ancho en la sección uniforme de 10 metros, siendo la longitud de la zona de transición de 70 metros.

Para dimensionar el aliviadero se tuvo en cuenta la avenida de los quinientos años, calculada por el método hidrométrico y partiendo de los datos siguientes:

- Serie histórica de precipitaciones máximas en veinticuatro horas, extendida a 30 estaciones, de las cuales cinco eran interiores a la cuenca y abarcando un período de treinta años.
- Curvas de distribución de la precipitación máxima a lo largo del día según la duración de la tormenta, correspondiente a las estaciones de Almería y Armilla (Granada).
- Coeficiente de escorrentía, deducido a partir de los aforos y las precipitaciones ocurridas en tres tormentas generalizadas en la cuenca de la estación de aforos de La Tosquilla, sobre el río Ugijar.
- Curvas insocronas de la cuenca a escala 1/50.000, trazadas con las hipótesis de suponer la velocidad en el cauce proporcional a la raíz cuadrada de la pendiente del mismo.

Con estos datos se llegó a determinar como tormenta pésima; es decir, la que produce mayor caudal instantáneo,

la de una hora de duración, siendo el caudal punta correspondiente a la avenida de los quinientos años $Q = 497 \text{ m}^3/\text{seg}$.

El caudal instantáneo obtenido en el proyecto ha sido ampliamente superado por el generado por la tormenta de 19 de octubre de 1973, cuya duración fue de unas siete horas, el cual se ha estimado en $825 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Podría argumentarse que el período de retorno de esta última avenida es superior a quinientos años; sin embargo, consideramos más probable que el coeficiente de escorrentía adoptado (0,15) fuese bajo, pues bastaría un coeficiente doble (0,30) para que los dos caudales que estamos comparando fueran muy semejantes.

De todas formas, en el estudio de laminación del embalse se consideró el caso de una avenida cuyo hidrograma tuviera valores dos veces los calculados, comprobándose que el embalse era capaz de absorberla agotando parte del resguardo.

Con el hidrograma de la avenida de octubre de 1973 se ha estudiado nuevamente la laminación del embalse, suponiendo éste lleno al iniciarse la avenida.

Los resultados obtenidos son satisfactorios, obteniéndose una sobreelevación sobre el máximo nivel normal de 1,03 centímetros, con un resguardo ligeramente superior al necesario.

9. DESAGÜE DE FONDO

El desagüe de la presa de Beninar consta de los siguientes elementos:

- Una torre de toma de 29 metros de altura, de los cuales tienen rejilla los últimos 12 metros.
- Dos tuberías de un metro de diámetro que comienzan inmediatamente después de la torre y que se alojan en el interior del túnel de desvío.
- Una cámara de válvulas donde cada tubería va equipada con una válvula de compuerta y otra de chorro hueco. Las tuberías desaguan en el interior del túnel.

El acceso a la cámara de válvulas se efectúa desde la galería perimetral y mediante un camino que parte de la coronación de la presa, y discurre parte a cielo abierto y parte en túnel.

Durante la ejecución del túnel de desvío se ha comprobado el intenso estado de fracturación en que se encuentra el macizo calizo de la margen izquierda por donde discurre dicho túnel, siendo la zona peor la de la embocadura de entrada y un tramo hacia aguas abajo de unos 200 metros.

La cámara de válvulas proyectada está situada a unos 30 metros de la embocadura y tiene una sección de excavación de $11,70 \times 7,70$ metros. La ejecución de esta obra,

así como la de su camino de acceso que tiene un tramo en túnel de 275 metros, resultará complicada y costosa dadas las características geológicas de la ladera. Debido a esto consideramos conveniente la modificación de dicha cámara, habiéndose estudiado dos soluciones:

1. Situar la cámara proyectada en la boca de entrada del túnel y construirla a cielo abierto, esquema posible, puesto que el túnel de desvío se prolonga a través de la presa.

2. Trasladar la cámara a la salida del túnel y en consecuencia prolongar la tubería de desagüe de fondo, realizando el vertido directamente al río. Junto al tapón de

cierre del túnel se proyectan dos válvulas mariposa para no tener en carga todo el tramo de tubería.

La primera solución no evita la construcción del tramo de camino en túnel y por otra parte interfiere con el núcleo impermeable de la presa, lo que introduce una complicación que a ser posible se debe evitar. La segunda alternativa es mucho más segura desde el punto de vista funcional, puesto que evita el desagüe dentro del túnel con los consiguientes problemas de aireación. Desde el punto de vista económico, esta solución supone un encarecimiento del 2 por 100 del presupuesto total de la obra, pero dadas sus mayores garantías de seguridad se ha optado por ella.